デジタル測風経緯儀による低層風の鉛直構造の観測システムの導入

中川清隆（立正大学地球環境科学部環境システム学科）

Ⅰ　はじめに

平成 17 年 11 月、TAMAYA 製デジタル測風経緯儀 TD-4 が本学に導入された。本学はこれまで測風経緯儀を所有しておらず、本装置が初めての導入である。測風経緯儀は、地上から浮力を調節した測風用気球を放球し、その測風用気球の方位角・高度角を、一定時間、一定の時間間隔で観測し、その観測結果から地上から高度 3000ｍ程度までの低層風の風向・風速の鉛直構造を把握するために用いられる測器である。この度導入された本装置を用いた実習を気候学・気象学実験に組み込むとともに、平成 18 年度セミナーⅠの一環として､長野市西部の山地から長野市街地へ流れ込む裾花川からの山風の鉛直構造の日変化の観測を計画している。

Ⅱ　TAMAYA 製デジタル測風経緯儀 TD-4 の概要

この度本学に導入された TAMAYA 製デジタル測風経緯儀 TD-4 の概観を図１に示す。本装置は測風経緯儀メーカーであるタマヤ計測システム株式会社が平成 17 年秋に販売を開始した新製品である｡同製品カタログおよび取扱説明書によると、本体の大きさは 192W×240D×270Hmm、重量 4kg で、同社の従来品 TD-3 に比べて約半分に軽量化されている。本装置は、三脚上に固定され、水平調節および方位調整を実施されたうえで使用される。本装置は二つの望遠鏡を備えており、主望遠鏡は、有効径 47mm、視界 2.5° で、倍率 18 倍の倒立像が得られ、副望遠鏡は、有効径 16mm、視界 11° で、倍率 4 倍の倒立像が得られる。望遠鏡の方位角・高度角の最小読取は 0.01° である。望遠鏡を覗きながら左右のハンドルを回すことにより方位角と高度角を調節しながら地上から放球された測風気球を追尾すると、予め設定された時間間隔ごとに、望遠鏡の方位角と高度角がメモリーに記録される。保存可能な測定データ数は 20000 組なので､30 秒間隔の観測を 30 分間継続する観測の場合は､333 ランの測定が可能となる見込みである。従って､1 時間間隔の観測ならば 13 日､30 分間隔の観測ならば 6 日分の観測データを保存することが可能となる見込みである。メモリーに記憶される内容は、リアルタイムにプリントアウトするか､全観測終了後本装置を実験室に持ち帰り RS232C 経由でパソコンへ外部出力することが可能である。

Ⅲ　測風経緯儀観測データの処理方法の概要

浮力を調整した気球を放球し、一定時間間隔で測定したその方位角と高度角の値から求めた気球の３次元的位置情報に基づいて上層の水平風の鉛直構造を把握する観測方法は、パイロットバルーン観測、ないしは、パイバル観測と呼ばれる。気球の３次元的位置成分のうち、高度の増加は気球の浮力によるが、水平方向の位置の変化は気球の回りを充填している空気の動きによる。即ち、気球は眼に見えない空気の動きを可視化させるためのトレーサーとして利用される。

自重 wg 重の気球に純浮力 Lg を与えると、気球は一定速度 V で上昇する。この時、気球に作用して

いる力は、重力 wg と浮力 Qg および抵抗 R の 3 者である。浮力 Qg と重力 wg の差 Qg-wg が気球の純浮力 Lg であり、純浮力が正の値を持てば気球は上昇する。 大気中を速度 V で上昇する気球には上昇速度に依存する抵抗 R がかかり、上昇速度が大きいほど抵抗も大きくなる。上昇速度は純浮力の存在によって発生するが、上昇速度が大きくなり過ぎると純浮力を上回る抵抗が生じ気球は浮力を失ってしまう。浮力を失って上昇速度が鈍ると抵抗が減少するので、気球の浮力が復活する。結局、気球は抵抗が純浮力と釣り合う速度、いわゆる終端速度で等速上昇運動をすることになる。自重 20g の気球に純浮力 18.3ｇを与えると上昇速度は 100m/s となることが知られている。

観測結果を以下の手順で処理して、上層風の分布を解析することが可能となる。

(1) 30 秒で 50ｍづつ高度が増加するので、放球後の経過時間から気球高度ｈを決定する。

(2) 気球高度ｈと気球高度角 θ から、気球の直下点までの距離Ｌを、

$$L=h/\tan\theta$$

として求める。

(3) 直下点までの距離Ｌと方位角 ϕ から、気球のｘ座標とｙ座標を

$$x=L\sin\phi$$

$$y=L\cos\phi$$

として求める。

(4) すべての高度の(x_i, y_i)を地図上にプロットして航跡図を作成する。気球の上昇は自分の浮力によっているが、水平方向への移動は気球の周囲の空気塊の移動によるので、航跡図上の 30 秒間の気球の軌跡は、当該気層の 30 秒間平均風程に等しい。

(5) 30 秒間隔の２つの気球の水平座標(x_i, y_i), (x_{i+1}, y_{i+1})のデータから、

$$v=\{(x_{i+1}-x_i)^2+(y_{i+1}-y_i)^2\}^{0.5}/30$$

として風速ｖを求め、

$$d=180+\tan^{-1}\{(x_{i+1}-x_i)/(y_{i+1}-y_i)\}$$

として風向ｄを求める。

Ⅳ　長野市西郊裾花川谷口部の風の鉛直構造の日変化の観測の計画

長野市西部の山地から市街地へ流れ出る裾花川の谷口地域（図２，長野県庁付近）では、年間約 80 日程度、晴天夜間に比較的強い山風が観測され、春と秋にその出現頻度が高い（図３）（浜田，2001；浜田ほか，2004)。この山風は、日没後に吹き始め、午後 10 時から夜中にかけて風速がピーク（最大約 6m/s）に達し、その後明け方にかけて弱まり、日出後に止む、という時間変化を示す（図４）（一ノ瀬ほか，2005)。山風が顕著に出現する晴天静穏な気象条件時には長野市街地では夜間ヒートアイランドが発生するが（榊原・伊藤，1998)、山風吹走時には裾花川から長野市街地中心部の方へ低温域がくさび状に侵入し、長野市街地の夜間ヒートア

イランドに著しい影響を及ぼすことが知られている（一ノ瀬ほか，2005)。しかしながら、この山風の立体構造やその日変化はほとんど明らかになっておらず、山風の厚さや上空の風速分布、谷風との交替を含む山風の鉛直構造の日変化など不明な点が多い。

現在、この度導入されたデジタル測風経緯儀 TD-4 の性能確認を兼ねて、現地で裾花川山風について精力的に調査・研究されている浜田　崇（長野県環境保全研究所）氏の協力を得て、長野市西郊の裾花川谷口部における風の鉛直構造の日変化観測計画を立案中である。観測実施時期および観測サイト等計画の詳細は未定であるが、平成 18 年の夏季に 1 地点においてデジタル測風経緯儀 TD-4 を用いた 27 時間前後の 1 時間間隔パイバル観測を実施したいと考えている。山谷風発生の有無は、その時の総観場等の気象条件に大きく左右されるため、必ず成功する保障はないが、長野市の都市気候に大きな影響を与えている山風の厚さや風速分布、谷風との交代を含む日変化の把握を試みることを目的としている。

参考文献

一ノ瀬俊明・浜田　崇・田中博春（2005）：山風が都市ヒートアイランドに及ぼす影響に関する研究～長野市における観測事例の報告～．第 13 回地球環境シンポジウム講演論文集，135-140.

浜田　崇（2001）：長野盆地における局地気候―冷気湖と山風の事例―，長野県自然保護研究所紀要第 4 巻別冊 1，235-242

浜田　崇・一ノ瀬俊明・三上岳彦・田中博春・榊原保志（2004）：長野市街地に流入する山風の特性．日本気象学会 2004 年度春季大会講演予稿集，276.

榊原保志･伊藤由香(1998)：長野市における夜間気温分布と天空率，風の関係，地理学評論 71A，436-443.

図 1　TAMAYA 製デジタル測風経緯儀 TD-4 概観
（タマヤ計測システム株式会社デジタル測風経緯儀 TD-4 カタログより）

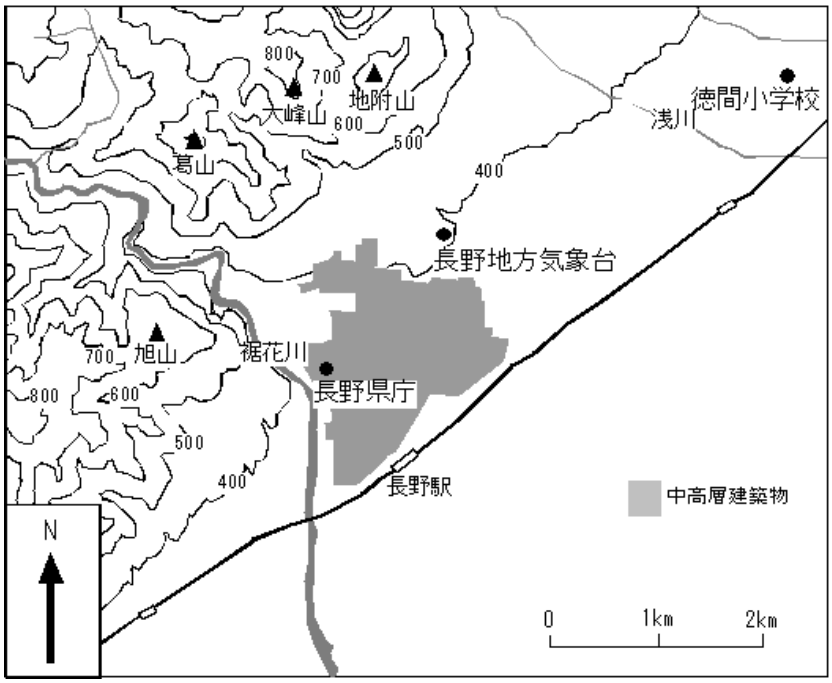

図 2　対象地域概観図(浜田　崇（長野県環境保全研究所）氏提供)

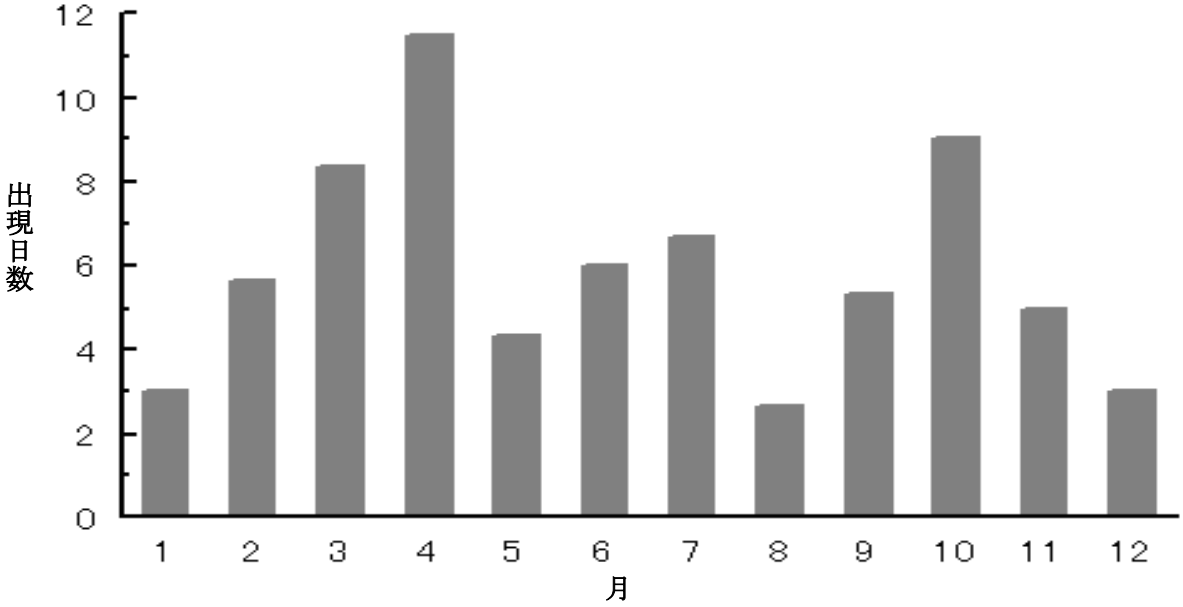

図３　山風出現頻度の季節変化（2000 年～2003 年までの平均）（浜田ほか, 2004,より）

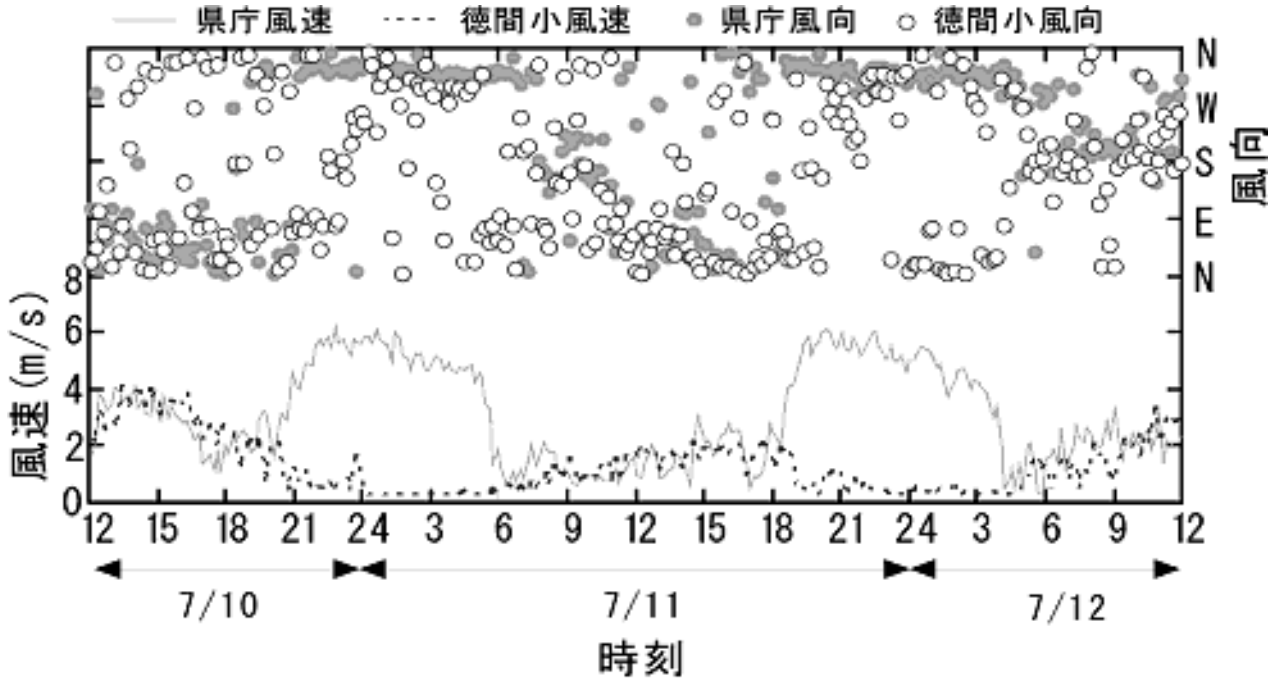

図４　典型的な山風の事例（2000 年 7 月 10 日～7 月 12 日）（一ノ瀬ほか, 2005,より）